

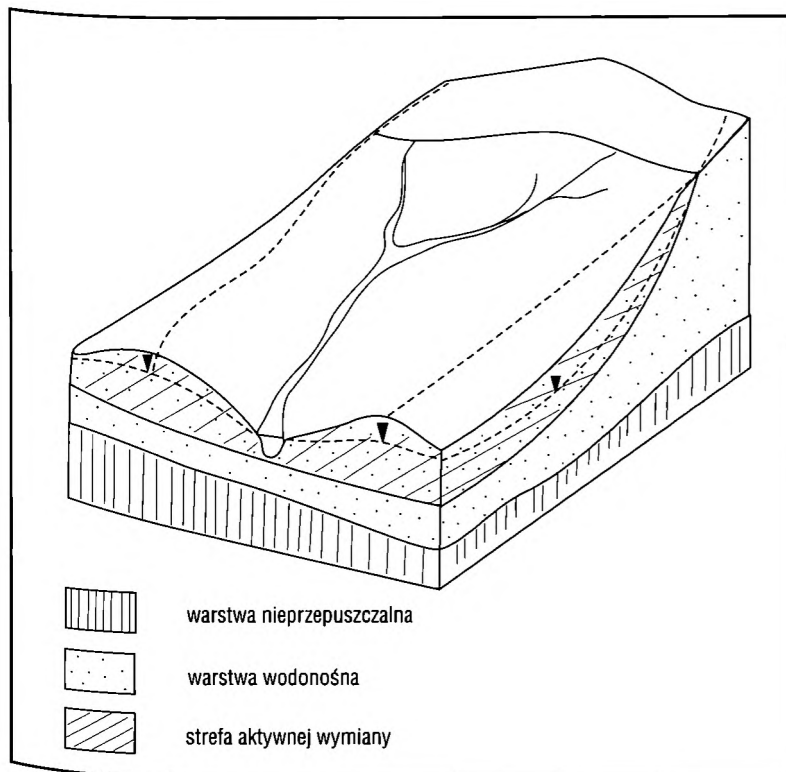
## 5.4. STREFA AKTYWNEJ WYMIANY WODY W ZLEWNI

W podziemnej fazie krążenia, ruch wody zachodzi w przestrzeni trójwymiarowej – wewnątrz zlewni, a dopiero w fazie drenażu, wody podziemne pojawiają się na powierzchni. Najczęściej, definicje zlewni nie uwzględniają jej trójwymiarowości, zaś większość miar odpływu – zarówno podziemnego, jak i powierzchniowego – odnoszonych jest do obszaru zlewni powierzchniowej. O ile jednak wyznaczenie granic zlewni powierzchniowej jest w większości przypadków możliwe, to ustalenie granic zlewni podziemnej może sprawiać pewne trudności (patrz rozdz. 1.1.2). Przemieszczanie się wody pod powierzchnią gruntu jest złożone i trudne do opisanie – nawet przy założeniu jednorodnej budowy geologicznej. Uwzględnienie trzeciego wymiaru zlewni rzecznej rozszerza możliwości formułowania nowych charakterystyk ilościowego opisu procesu odpływu i pozwala szerzej spojrzeć na zasobność wodną różnych zlewni oraz ich retencyjność.

Przypowierzchniową część litosfery, w obrębie której zasoby wód podziemnych znajdują się w zasięgu drenującego oddziaływania źródeł, rzek i jezior, nazywa się **strefą aktywnej wymiany** lub strefą retencji czynnej (ryc. 5.4.1). Jej zasięg pokrywa się z prze-



Źródło wypływa w miejscu drenażu strefy aktywnej wymiany wody w zlewni



Ryc. 5.4.1. Strefa aktywnej wymiany wody w zlewni (Jokiel, 1999)



Źródło będące początkiem cieku zamyka zlewnię zerowego odpływu (źródło w Jaworzniku, dorzecze Warty)

strzenię zlewni podziemnej. Początek cieku stałego zamyka tzw. **zlewnię zerowego odpływu**, to jest tę część zlewni, w której odpływ powierzchniowy występuje epizodycznie. Ze względu na zmiany głębokości wód podziemnych w czasie, granica zlewni zerowego odpływu przesuwa się w górę lub w dół doliny. Poniżej przekroju zamykającego zlewnię zerowego odpływu rozpoczyna się ciek stały, drenujący warstwę lub warstwy wodonośne. Miąższość i objętość strefy aktywnej zlewni rośnie wraz ze wzrostem głębokości rozcięć erozyjnych, wraz z biegiem rzeki oraz przyrostem jej powierzchni. W dół cieku rośnie również powierzchnia frontu drenażu poziomu wodonośnego, a w niektórych przypadkach – liczba drenowanych poziomów. Zasięg strefy aktywnej wymiany zlewni jest zatem wypadkową relacji między rzędnymi terenu i płaszczyznami wyznaczonymi przez rzędne lokalnych baz drenażowych, czyli przez rzędne den koryt rzecznych. Przeciętną miąższość strefy aktywnej wymiany można uzyskać na podstawie średniej wysokości zlewni i średniej rzędnej koryt rzecznych, które tę zlewnię drenują. Różnica tych wielkości określa średnią **miąższość strefy aktywnej wymiany** zlewni:

$$M = H - h \quad (5.4.1)$$

gdzie:

- $M$  – średnia miąższość strefy aktywnej wymiany zlewni [m],
- $H$  – średnia wysokość zlewni [m n.p.m.] (patrz rozdz. 1.2.2),
- $h$  – średnia wysokość koryt rzecznych w zlewni [m n.p.m.].

Średnią wysokość koryt odwadniających daną zlewnię oblicza się według wzoru:

$$h = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta H_i D_i}{\sum_{i=1}^N D_i} \quad (5.4.2)$$

gdzie:

- $h$  – średnia wysokość koryt odwadniających zlewnię [m n.p.m.],
- $D_i$  – długość wszystkich cieków w polu ograniczonym poziomiami  $H_i$  i  $H_{i+1}$  [m],  $i = 1 \dots N$ .

**Uwaga:** do wyznaczenia wysokości średniej zlewni oraz średniej wysokości koryta rzecznego można wykorzystać programy GIS.

Z punktu widzenia miar i waloryzacji zasobów wodnych zlewni, ważnym parametrem jest **objętość strefy aktywnej wymiany wody**:

$$V = M \sum_{i=1}^N P_i \quad (5.4.3)$$

gdzie:

$V$  – objętość strefy aktywnej wymiany [ $\text{m}^3$ ],

$M$  – średnia miąższość strefy aktywnej wymiany [m],

$P_i$  – pole powierzchni między poziomiami  $H_i$  i  $H_{i+1}$  [ $\text{m}^2$ ].

Wielkość odpływu podziemnego jest funkcją aktualnego stanu napełnienia strefy aktywnej wymiany. Oceny tego stanu można dokonać na podstawie znajomości odpływu podziemnego rzeki (patrz rozdz. 5.2). Znając wielkość odpływu podziemnego w danym profilu hydrometrycznym oraz długość koryta rzecznej, można wyznaczyć **moduł odpływu podziemnego  $q_1$** :

$$q_1 = \frac{Q_p}{L} \quad (5.4.4)$$

gdzie:

$q_1$  – moduł odpływu podziemnego [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ ] lub [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ ],

$Q_p$  – odpływ podziemny [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] lub [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$L$  – długość koryta rzeki głównej [km].

Moduł odpływu podziemnego  $q_1$  odzwierciedla ilość wody dopływającą w ciągu sekundy do 1 km koryta w wyniku drenażu zarówno liniowego, jak i punktowego, zachodzącego w obrębie koryta rzecznej. W celu umożliwienia porównywalności odpływu podziemnego ze zlewni o różnych powierzchniach, przyjęto odnosić wielkość odpływu podziemnego do ich powierzchni, wyznaczając **moduł odpływu podziemnego  $q_2$** :

$$q_2 = \frac{Q_p}{A} \quad (5.4.5)$$

gdzie:

$q_2$  – moduł odpływu podziemnego [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ] lub [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ],

$Q_p$  – odpływ podziemny [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] lub [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],

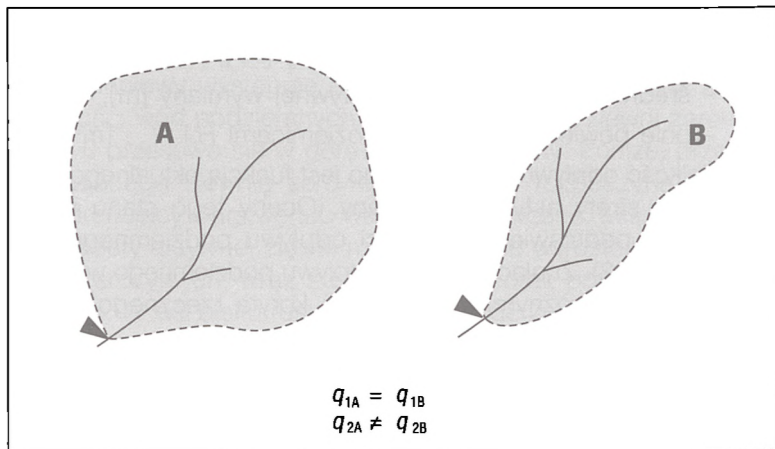
$A$  – powierzchnia zlewni [ $\text{km}^2$ ].

Tak obliczony moduł określa ilość wody, jaka odpływa w ciągu sekundy z 1  $\text{km}^2$  zlewni. Można zauważyć, iż jeśli odpływ podziemny  $Q_p$  w dwóch zlewniach jest równy oraz układ sieci rzecznej jest taki sam, lecz zlewnie te różnią się wielkością powierzchni, to mimo tej różnicy, moduł odpływu podziemnego  $q_1$  jest w obu zlewniach taki sam, ale moduły odpływu podziemnego  $q_2$  znacznie się różnią (ryc. 5.4.2). Z kolei, można sobie wyobrazić dwie zlewnie o jednakowym odpływie podziemnym  $Q_p$  oraz takich samych powierzchniach, lecz różnej sieci rzecznej, wówczas moduł odpływu podziemnego  $q_2$  jest w obu zlewniach taki sam, ale moduły odpływu podziemnego  $q_1$  są różne (ryc. 5.4.3). Żadna

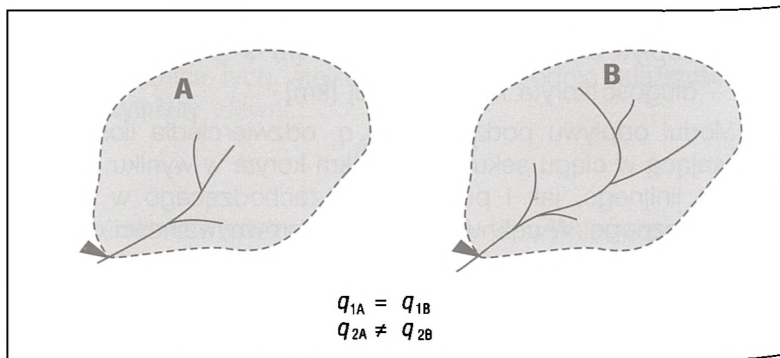


Moduł odpływu podziemnego zlewni można odnosić do jednostki długości koryta rzecznej

Ryc. 5.4.2. Zlewnie A i B o takich samych modułach odpływu  $q_1$ , lecz różnych modułach odpływu  $q_2$



Ryc. 5.4.3. Zlewnie A i B o takich samych modułach odpływu  $q_2$ , lecz różnych modułach odpływu  $q_1$



z powyższych miar: ani moduł odpływu podziemnego  $q_1$ , ani moduł odpływu podziemnego  $q_2$  nie uwzględniają jednak przestrzennego charakteru zlewni podziemnej. Możliwość taką dają dopiero wzięcie pod uwagę w obliczeniach – objętości strefy aktywnej wymiany wody, dzięki której można wyznaczyć tzw. **moduł zawodnienia strefy aktywnej wymiany**:

$$q_3 = \frac{Q_p}{V} \quad (5.4.6)$$

gdzie:

$q_3$  – moduł zawodnienia [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-3}$ ] lub [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-3}$ ],

$Q_p$  – odpływ podziemny [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$V$  – objętość strefy aktywnej wymiany zlewni [ $\text{m}^3$ ].

Moduł zawodnienia strefy aktywnej wymiany  $q_3$  wyraża objętość wody, jaka odpływa z 1  $\text{km}^3$  podziemnej zlewni badanego cieku w ciągu sekundy. Odzwierciedla on zatem wielkość odpływu podziemnego w stosunku do jednostki objętości strefy aktywnej wymiany zlewni, a nie jak dotąd – w stosunku do obszaru zlewni

powierzchniowej lub długości cieku. Taki sposób waloryzacji zasobów wód podziemnych jest właściwy, bowiem uwzględnia trójwymiarowy charakter zlewni podziemnej, w obrębie której przebiega proces odpływu podziemnego.

Przykład

Oszacuj zasobność wodną zlewni Kubaleńca (dorzecze Starej Rzeki, Pogórze Wiśnickie) na podstawie wielkości modułu zawodnienia strefy aktywnej wymiany. Powierzchnia zlewni wynosi 1,1 km<sup>2</sup>, wysokość średnia zlewni 257 m n.p.m., natomiast średnia wysokość koryta rzecznego 237 m n.p.m. Odpływ podziemny wynosi 1,6 dm<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>.

Rozwiązanie

1. Wyznaczenie miąższości strefy aktywnej wymiany według wzoru (5.4.1)

$M = 257 - 237 = 20 \text{ [m]}$

Miąższość strefy aktywnej wymiany w zlewni Kubaleńca wynosi 20 m.

2. Obliczenie objętości strefy aktywnej wymiany zlewni według wzoru (5.4.3)

$V = 0,02 \cdot 1,1 = 0,022 \text{ [km}^3\text{]}$

Objętość strefy aktywnej wymiany zlewni Kubaleńca wynosi 0,022 km<sup>3</sup>.

3. Obliczenie modułu zawodnienia strefy aktywnej wymiany według wzoru (5.4.6)

$q_3 = \frac{1,6}{0,022} = 72,7 \text{ [dm}^3\text{·s}^{-1}\text{·km}^{-3}\text{]}$

Odpowiedź

Moduł zawodnienia strefy aktywnej w zlewni Kubaleńca wynosi 72,7 dm<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>·km<sup>-3</sup>.

Zadanie

Oblicz i dokonaj analizy porównawczej zasobów wodnych zlewni Potoku Dańczowskiego oraz zlewni Grabki, stosując różne miary zasobności (tab. 5.4.1). Wyjaśnij różnice.

Tab. 5.4.1. Charakterystyki morfometryczne i hydrologiczne zlewni Potoku Dańczowskiego i Grabki

Lp.	Rzeka	Region	A [km <sup>2</sup> ]	H [m n.p.m.]	h [m n.p.m.]	Q <sub>p</sub> [dm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
1	Potok Dańczowski	Góry Stołowe	18,6	589,0	543,0	5,30
2	Grabka	Wyżyna Łódzka	17,7	237,3	229,9	0,15

